ECHANTILLONNAGE INDIVIDUEL D'UN AEROSOL PAR L'APPAREIL CIP 10

OBJECTIFS

Cette fiche décrit une méthode d'échantillonnage individuel des fractions d'un aérosol liées à la santé, telles qu'elles sont définies par les normes EN 481 [1] et IS 7708 [2]. L'échantillonneur CIP 10 [3] existe en trois versions : CIP 10-R [4], CIP 10-T [5] et CIP 10-I [6], pour échantillonner au choix la fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable. Un exemple d'utilisation de la méthode est le mesurage de l'exposition individuelle à des polluants particulaires renfermant une substance pour laquelle il existe une valeur limite d'exposition en fraction alvéolaire, thoracique ou inhalable.

MATERIEL

- Echantillonneur individuel CIP 10 muni d'un sélecteur de la fraction alvéolaire (Fig. 1), thoracique (Fig. 2a) ou inhalable (Fig. 2b ou fig. 9).
- Etage collecteur (coupelle rotative) muni d'un filtre spécifique en mousse de polyuréthanne de grade 60 (60 PPI*).
- Système d'étalonnage du débit à compensation de perte de charge (Fig. 3).



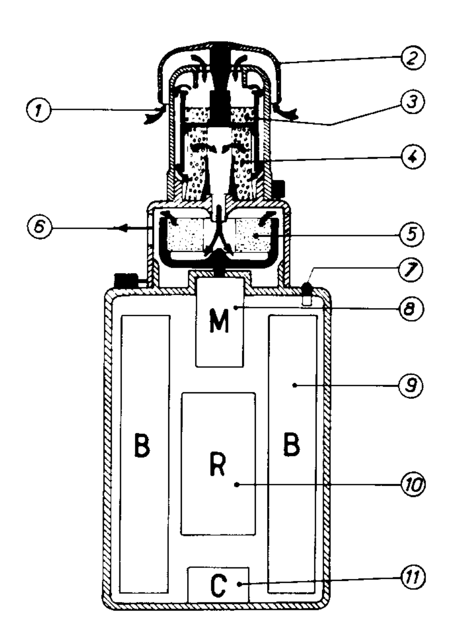


Figure 1
Photo et schéma de l'appareil CIP 10 en version alvéolaire (CIP 10-R), débit d'air : 10 $L.min^{-1}$

1 : fente annulaire d'aspiration
2 : chapeau protecteur
3 : impacteur
*4 : filtre à mousse grade 45 PPI**
5 : coupelle rotative avec mousse du grade 60 (60 PPI)*
6 : sortie d'air
7 : témoin de fonctionnement
8 : moteur
9 : batteries
10 : circuit de régulation
11 : prise de charge

*PPI – Pores Per Inch (nombre de pores sur une longueur de 2,54 cm)

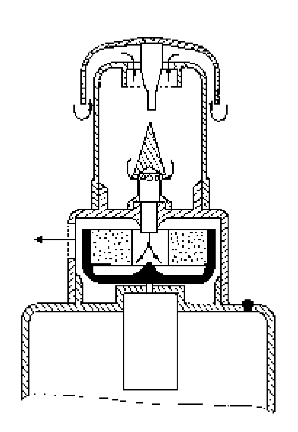


Figure 2a
Sélecteur de la fraction thoracique
(CIP 10-T, débit d'air 7 $L.min^{-1}$)

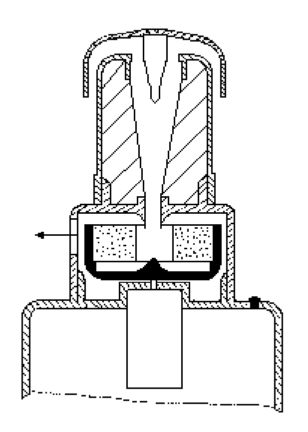


Figure 2b
Sélecteur de la fraction inhalable
(CIP 10-I, débit d'air 10 $L.min^{-1}$)

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU CIP 10

- Le débit de l'appareil est assuré par la rotation à grande vitesse (près de 7000 tours par minute) d'une coupelle garnie de mousse poreuse à l'intérieur d'une cavité appelée carter munie d'une entrée axiale et d'une sortie tangentielle. L' aspiration est provoquée par la combinaison d'écoulements dits cyclonique et anticyclonique décrite dans les années soixante [7, 8] et utilisée dans certains échantillonneurs précédant l'appareil CIP 10. Le débit est directement proportionnel à la vitesse de rotation [9]. Si l'on obtient avec l'appareil CIP 10 un débit relativement élevé pour sa compacité, le dispositif est par contre sensible à toute perte de charge imposée à l'écoulement, ce qui fait que le mesurage du débit doit être accompagné obligatoirement d'une compensation de perte de charge de l'instrument de mesure (Fig. 3).
- Les particules échantillonnées sont collectées dans le filtre rotatif en mousse de polyuréthanne de grade 60. La filtration par une mousse de polyuréthanne a été étudiée initialement par Brown [10] et par Gibson et Vincent [11]. D'autres études ont été menées depuis [12,13]. L'efficacité de filtration croît fortement avec la vitesse de rotation du filtre, comme nous avons pu le vérifier expérimentalement [9].
- L'étage collecteur est précédé d'un sélecteur de particules. Son rôle est de trier les particules en fonction de leur diamètre aérodynamique. Il assure le passage de la fraction mesurée vers la coupelle rotative tout en retenant les particules de taille plus élevée. Les trois sélecteurs utilisent une fente annulaire omnidirectionnelle d'aspiration. Le cheminement de l'aérosol à l'intérieur du sélecteur diffère suivant la fraction sélectionnée (Fig. 1, 2a, 2b ou 9). Une sélection correcte est assurée uniquement en respectant les débits nominaux des sélecteurs :
  - Fraction alvéolaire : 10 $L.min^{-1}$
  - Fraction thoracique : 7 $L.min^{-1}$
  - Fraction inhalable : 10 $L.min^{-1}$

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'APPAREIL CIP 10

- L'appareil CIP 10 est un dispositif compact par comparaison aux dispositifs classiques composés généralement d'une tête de prélèvement reliée à une pompe par un tube flexible. Les dimensions, le poids, la tension des batteries, la consommation, les caractéristiques des mousses et d'autres paramètres techniques sont mentionnés dans le manuel d'utilisation [14, 15]. Il reste à souligner sa grande autonomie qui dépasse 30 heures de fonctionnement pour une seule charge de batteries.
- La particularité de l'appareil CIP 10 réside à la fois dans l'utilisation d'un filtre rotatif pour aspirer l'air et pour collecter les particules. Cette solution technique lui confère certaines propriétés intéressantes : la rotation de la coupelle consomme peu d'énergie par rapport à une pompe classique, ce qui donne à l'appareil une grande autonomie. L'utilisation d'un filtre à faible perte de charge en mousse de polyuréthanne permet le fonctionnement à un débit relativement élevé pour un prélèvement de type individuel (10 $L.min^{-1}$) et la collecte d'une masse importante de particules sans colmatage (jusqu'à 50 mg environ). Par contre, l'efficacité de rétention du filtre baisse légèrement pour les fines particules en-dessous de 2 µm. Cette baisse est partiellement compensée par une faible surestimation de la quantité des particules dans la plage de 3 à 5 µm par rapport à la convention alvéolaire (Fig. 4).

MESURAGE ET REGLAGE DU DEBIT

- Le réglage du débit de l'échantillonneur CIP 10 s'effectue en modifiant la vitesse de rotation du moteur entraînant la coupelle. Le mesurage du débit nécessite un dispositif de compensation de perte de charge. Un schéma de mesurage et de réglage du débit est représenté sur la figure 3.

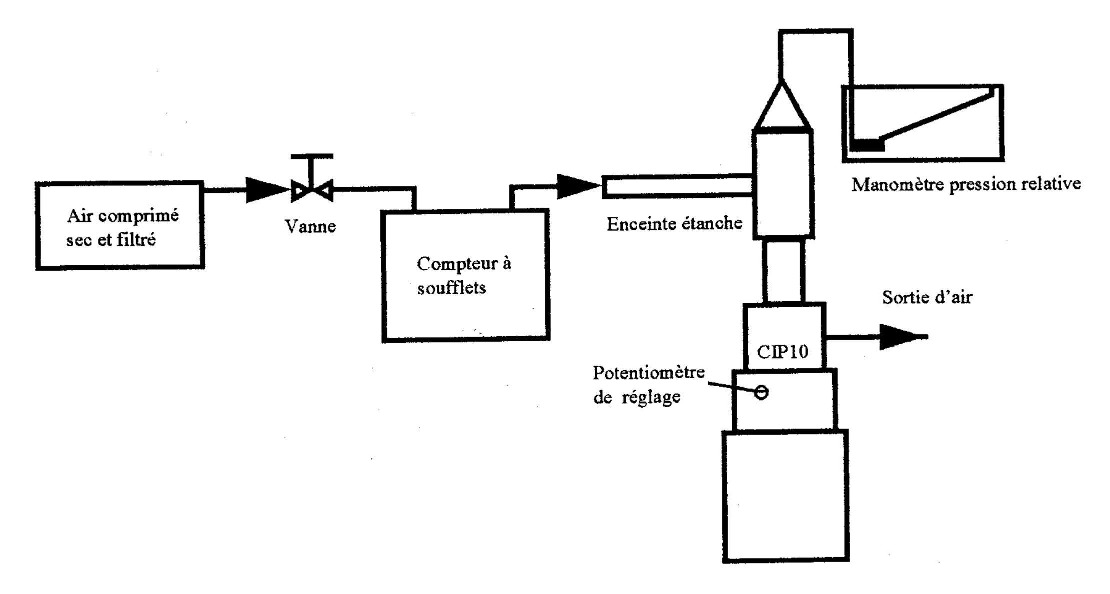


Figure 3
Schéma de mesurage et de réglage du débit de l'échantillonneur CIP 10

- Le principe de mesurage du débit avec compensation de perte de charge repose sur le maintien de l'équilibre du débit de l'échantillonneur avec le débit de compensation. Le débit de compensation est réglé par une vanne au débit nominal de l'échantillonneur et mesuré à l'aide d'un compteur à gaz (ou équivalent) étalonné. Ce débit est envoyé dans une enceinte étanche dans laquelle est insérée la tête d'aspiration du CIP 10 en état de marche. L'enceinte étanche est munie d'une prise de pression statique connectée au manomètre. L'équilibre entre l'air soufflé et l'air aspiré est atteint quand la pression différentielle Δp entre la pression atmosphérique et celle de l'enceinte est égale à zéro. Si cela n'est pas le cas, le débit d'aspiration de l'appareil CIP 10 doit être modifié à l'aide du potentiomètre sur le circuit électronique de l'appareil jusqu'à observer $\Delta p = 0$. Le mode d'emploi est rappelé dans le manuel d'utilisation de l'échantillonneur [14, 15].
- Après le réglage du débit à la valeur nominale, la vitesse de rotation de la coupelle rotative peut être mesurée à l'aide d'un compte-tours optoélectronique. La proportionnalité directe entre la vitesse de rotation et le débit de l'appareil CIP 10 [9] permet une vérification ultérieure du débit. Cette procédure peut être employée uniquement dans le cas de l'utilisation de sélecteurs du même type (mesurage de la même fraction d'aérosol). Si, dans le cas de ce contrôle, la vitesse de rotation diverge de celle enregistrée après le réglage du débit, le débit doit être réajusté au débit nominal en suivant la procédure complète de mesurage du débit avec compensation de perte de charge.

Note : Le réglage du débit doit être effectué systématiquement lors du changement du type de sélecteur. Même si les sélecteurs de la fraction alvéolaire et de la fraction inhalable sont utilisés au même débit nominal (10 L.min^{-1}), les réglages ne sont pas identiques. Ces deux sélecteurs imposent en effet à l'écoulement d'air des pertes de charge différentes. Par conséquent la vitesse de rotation est légèrement différente dans les deux cas. Ceci est valable de surcroît pour le sélecteur de la fraction thoracique qui fonctionne au débit nominal de 7 L.min^{-1}.

MONTAGE ET UTILISATION

L'assemblage des différents sélecteurs et le montage de la coupelle rotative sont décrits dans le manuel d'utilisation de l'appareil [14, 15]. Pour l'échantillonnage individuel l'appareil CIP 10 peut être monté dans un baudrier permettant sa fixation sur la poitrine au voisinage des voies respiratoires supérieures. La mise en marche et l'arrêt de l'appareil s'effectuent à l'aide d'un interrupteur magnétique. La concentration massique de l'aérosol se déduit de la masse des particules collectées dans la coupelle rotative munie de son filtre en mousse de polyuréthanne. La procédure de pesée est décrite par ailleurs [15, 28]. Dans le cas de certaines applications analytiques la mousse peut être incinérée et seules les particules minérales peuvent être récupérées pour l'analyse (cas de la silice, par exemple) [27]. Si les substances dont on veut mesurer la concentration dans l'air sont solubles dans un solvant, on peut les récupérer par extraction.

PERFORMANCES DE L'ECHANTILLONNEUR

L'efficacité d'échantillonnage a été mesurée au laboratoire en fonction du diamètre aérodynamique des particules et comparée aux courbes conventionnelles d'échantillonnage des fractions d'aérosol liées à la santé [1, 2]. Les performances de l'échantillonneur ont été évaluées et exprimées sous forme de cartes de biais et de précision suivant la norme européenne EN 13205 [17]. Du fait que l'échantillonneur permet suivant le sélecteur choisi d'échantillonner l'une des trois fractions conventionnelles, il convient d'évaluer ses performances fraction par fraction.

PERFORMANCES D'ECHANTILLONNAGE DE LA FRACTION ALVEOLAIRE

- Pour échantillonner la fraction alvéolaire d'un aérosol, l'appareil est utilisé dans sa version CIP 10-R avec le sélecteur représenté sur la figure 1, au débit de 10 $L.min^{-1}$.
- Les mesures d'efficacité ont été conduites dans un tunnel aéraulique dans des conditions proches de celles dites de l'air calme en utilisant un aérosol polydispersé. Les résultats relatifs à l'efficacité d'échantillonnage sont représentés sur la figure 4 en fonction du diamètre aérodynamique des particules [16]. La courbe conventionnelle alvéolaire est également représentée.

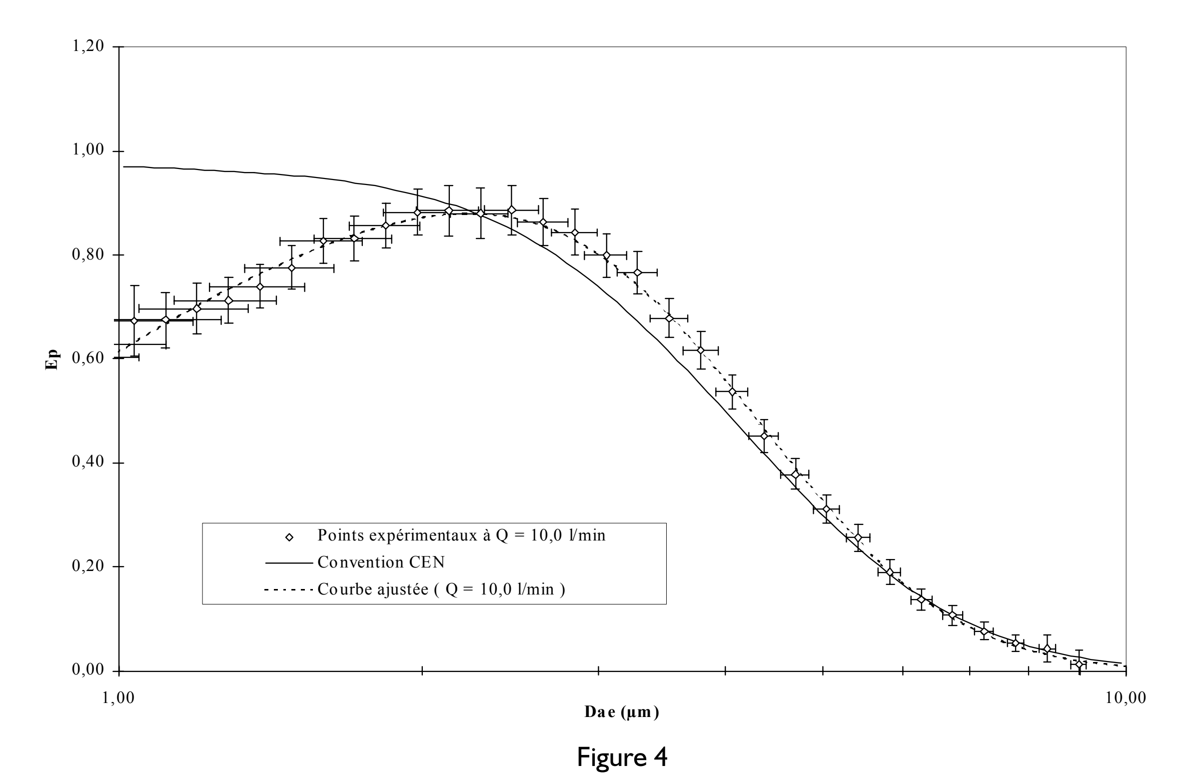
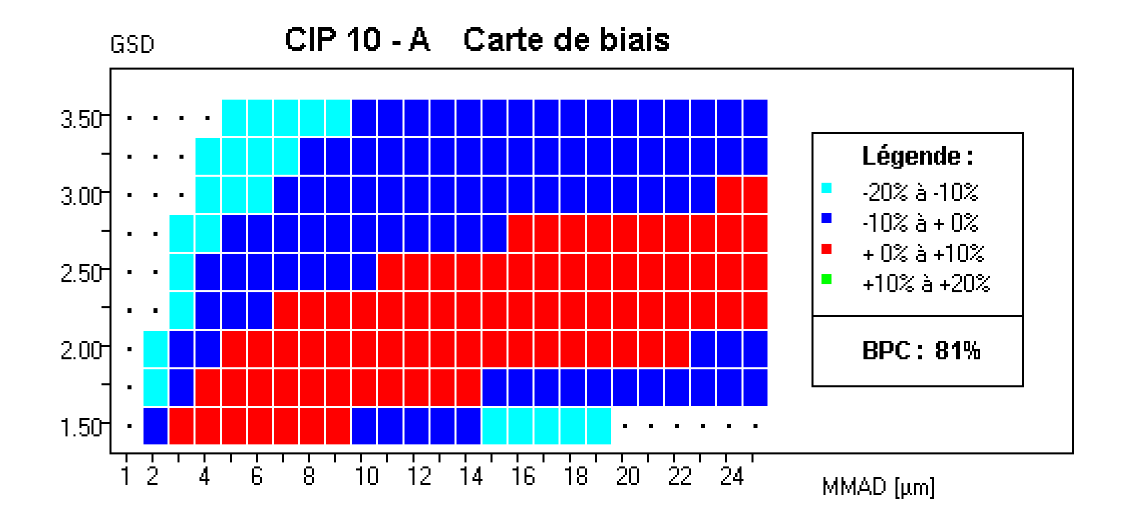


Figure 4
Efficacité d'échantillonnage de la fraction alvéolaire de l'appareil CIP 10-R en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit d'air 10 L.min^{-1}

- L'efficacité expérimentale est proche de la courbe conventionnelle mais présente un maximum au-delà de 2 µ. La diminution de l'efficacité en-deçà de 2 µm est due au rejet partiel des fines particules par le filtre rotatif.
- Les cartes de biais et de précision correspondant à l'efficacité mesurée sont représentées sur la figure 5 pour une série de distributions granulométriques d'un aérosol de type log-normal. Les paramètres de distribution constituent les coordonnées de la carte : MMAD – Mass Median Aerodynamic Diameter (*Diamètre aérodynamique médian en masse*) et GSD - Geometric Standard Deviation (*Ecart-type géométrique*). On peut rappeler que la carte de biais représente les écarts relatifs entre la concentration qui serait mesurée par l'échantillonneur étudié et la concentration qui correspondrait exactement à la convention alvéolaire pour le même aérosol. La carte de précision indique en fait « l'imprécision » de la détermination de la concentration des aérosols par rapport à la concentration conventionnelle. Elle est composée essentiellement de la valeur absolue du biais à laquelle s'ajoutent des éléments d'incertitude sur la détermination expérimentale de l'efficacité et sur l'utilisation de l'échantillonneur (par ex. le débit).
- La norme européenne EN 13205 [17] prévoit que le biais et l'imprécision ne doivent pas dépasser respectivement ± 10% pour le biais et 30% pour l'imprécision à l'intérieur du domaine granulométrique correspondant à la fraction spécifiée. A titre d'information les indices BPC et APC sur les cartes (Fig. 5) indiquent chacun le pourcentage de points satisfaisant les critères correspondants. Les aérosols quasi monodispersés étant peu fréquents dans l'industrie, seules les distributions avec un écart-type géométrique GSD ≥ 2 sont prises en compte pour le calcul des indices de performance BPC et APC.



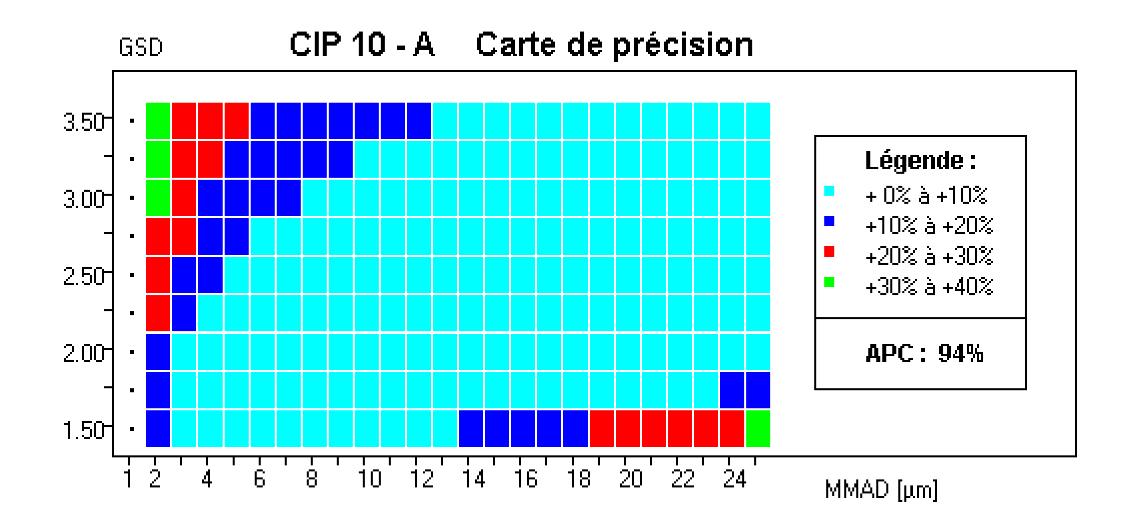


Figure 5

Carte de biais et carte de précision de l'échantillonneur CIP 10-R, débit 10 L.min^{-1}, par rapport à la fraction conventionnelle alvéolaire EN 481.

BPC - Bias Performance Criterium *(indice de performance sur le biais)*

APC - Accuracy Performance Criterium *(indice de performance sur la précision)*

- On peut constater que le critère du biais de mesurage de la concentration alvéolaire est satisfait pour 81% des points et le critère de précision pour 94%. Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante pour une grande partie du domaine. Toutefois il convient de signaler une baisse des performances pour des aérosols composés essentiellement de particules submicroniques. Ceci est dû à la baisse d'efficacité de filtration du filtre rotatif pour ces tailles de particules, comme cela a été mentionné au chapitre 4. Dans le cas des aérosols polydispersés cette baisse des performances pour les particules submicroniques est largement compensée par la très bonne efficacité obtenue pour les particules microniques. Par contre il est fortement déconseillé d'utiliser l'appareil CIP 10 pour échantillonner des aérosols très fins, notamment des fumées (dont les distributions granulométriques sont situées à l'extrémité gauche de la carte), pour éviter de sous-estimer gravement leur concentration. Cette précaution concerne par exemple les fumées de soudage, les fumées diesel, et plus généralement les aérosols ultra-fins.

PERFORMANCES D'ECHANTILLONNAGE DE LA FRACTION THORACIQUE

- Pour échantillonner la fraction thoracique d'un aérosol l'appareil est utilisé dans sa version CIP 10-T, avec le sélecteur représenté sur la figure 2a, au débit de 7 $L.min^{-1}$.
- Les mesures d'efficacité ont été conduites dans un tunnel aéraulique dans des conditions proches de l'air calme en utilisant un aérosol polydispersé. Les résultats relatifs à l'efficacité d'échantillonnage sont représentés sur la figure 6 en fonction du diamètre aérodynamique des particules [5]. La courbe conventionnelle thoracique est également représentée.

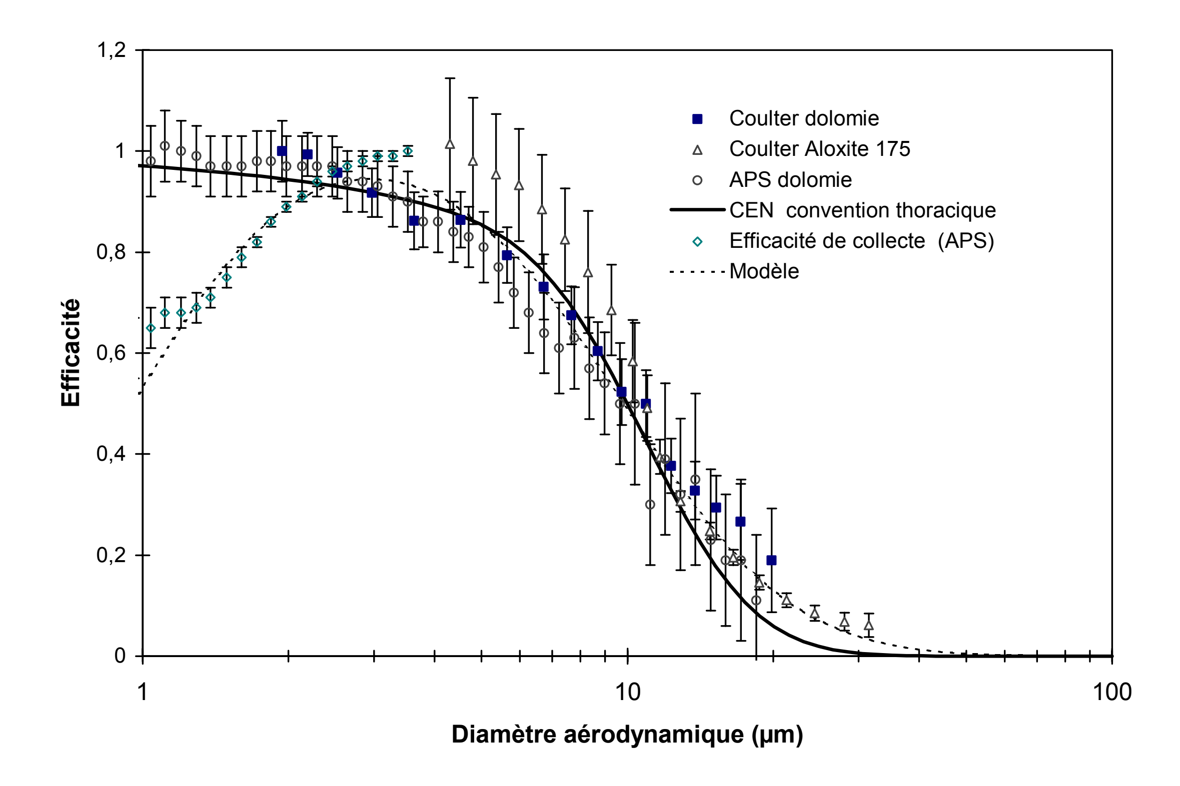
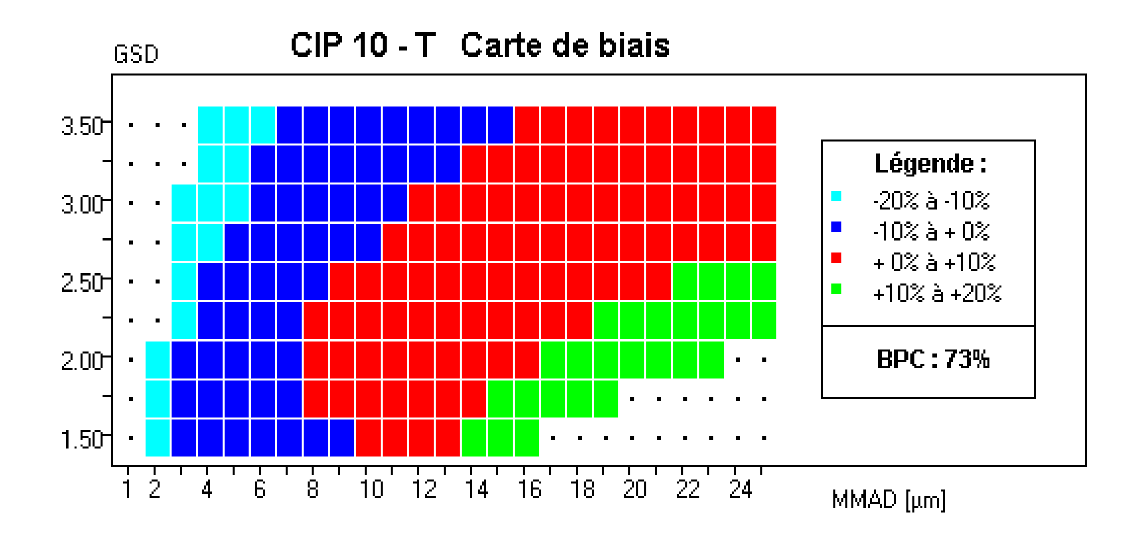


Figure 6

Efficacité d'échantillonnage de la fraction thoracique de l'appareil CIP 10-T en fonction du diamètre aérodynamique des particules. Débit d'air 7 $L.min^{-1}$

- L'efficacité expérimentale est proche de la courbe conventionnelle au-delà de 2 µm mais présente un maximum. Elle est légèrement supérieure à l'efficacité conventionnelle entre 10 et 30 µm. La baisse d'efficacité en-deçà de 2 µm est due au rejet partiel de ces fines particules par le filtre rotatif. Les deux effets se compensent partiellement.
- Les cartes de biais et de précision correspondant à l'efficacité mesurée sont représentées sur la figure 7. Les exigences normatives [17] sur le biais et la précision d'échantillonnage de la fraction thoracique sont les mêmes que pour la fraction alvéolaire.



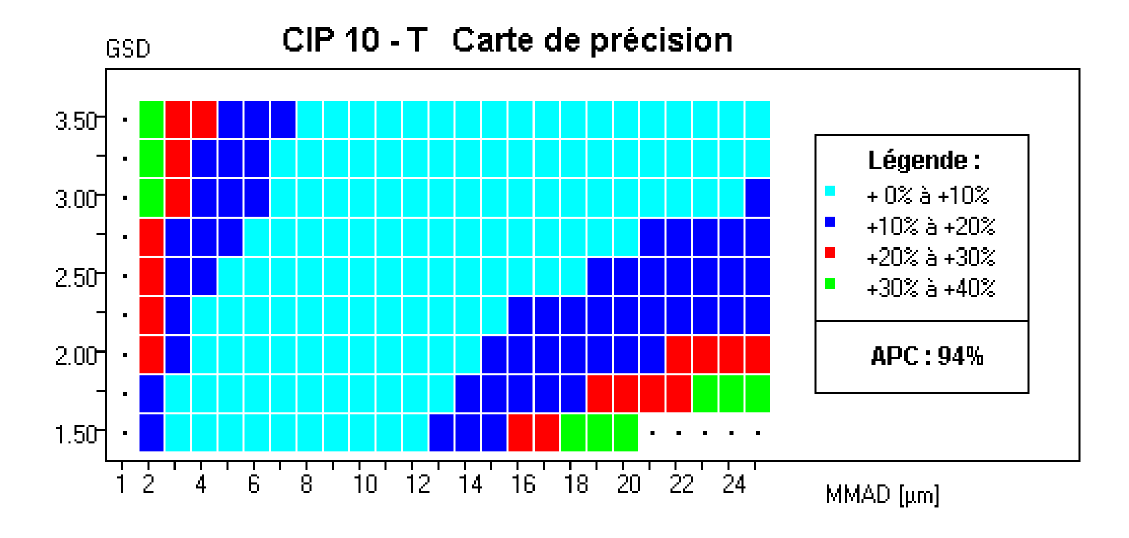


Figure 7
Cartes de biais de précision de l'échantillonneur CIP 10-T, débit 7 $L.min^{-1}$,
par rapport à la fraction conventionnelle thoracique EN 481.

BPC - Bias Performance Criterium *(indice de performance sur le biais)*
APC - Accuracy Performance Criterium *(indice de performance sur la précision)*

- On peut constater que le critère sur le biais (BPC) est satisfait pour 73% des points et le critère de précision (APC) pour 94% avec la condition GSD ≥ 2 (Fig. 7). Cette performance peut être considérée comme très satisfaisante pour une grande partie du domaine. Toutefois il convient de signaler une baisse des performances pour des aérosols composés essentiellement de particules submicroniques. Ceci est dû à la baisse d'efficacité de filtration du filtre rotatif pour ces tailles de particules, comme cela a été mentionné au chapitre 4. Dans le cas des aérosols polydispersés cette baisse des performances pour les particules submicroniques est largement compensée par la très bonne efficacité obtenue pour les particules microniques. Dans le cas du mesurage de la fraction thoracique cet effet a généralement peu de répercussions sur les résultats, étant donné que cette fraction prend en compte des particules jusqu'à environ 30 µm. Il est cependant fortement déconseillé d'utiliser l'appareil CIP 10-T pour échantillonner des aérosols très fins, notamment des fumées (dont les distributions granulométriques sont situées à l'extrémité gauche de la carte), pour éviter de sous-estimer gravement leur concentration. Cette précaution concerne par exemple les fumées de soudage, les fumées diesel, et plus généralement les aérosols ultra-fins.
- L'appareil CIP 10-T peut être utilisé notamment pour l'échantillonnage d'aérosols dans l'industrie textile où il a su remplacer avantageusement l'élutriateur vertical [18] qui ne pouvait être exploité qu'à poste fixe. Ses performances par rapport à l'élutriateur ont été vérifiées à la fois en laboratoire et in situ [19]. Dans ce type d'industrie l'aérosol présent sur les lieux de travail peut contenir des fibres textiles d'assez grandes dimensions, souvent agglomérées en amas, qui peuvent obstruer le sélecteur thoracique de l'appareil CIP 10-T et empêcher ainsi son bon fonctionnement. Il est recommandé d'utiliser dans ce cas une grille extérieure protégeant la fente d'aspiration, représentée en figure 8. On a pu vérifier que son utilisation ne modifie ni le débit ni les performances de l'appareil [20].

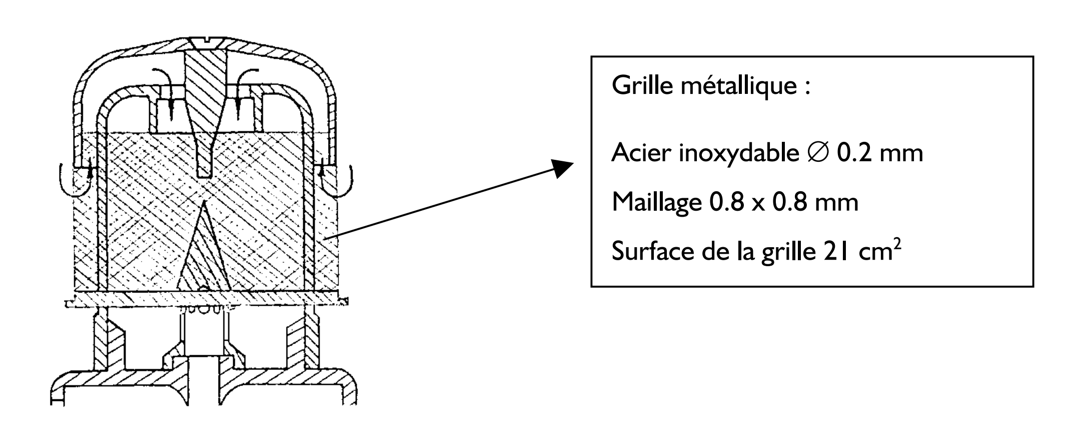


Figure 8
Sélecteur thoracique équipé de sa grille extérieure optionnelle

PERFORMANCES D'ECHANTILLONNAGE DE LA FRACTION INHALABLE

- L'échantillonneur CIP 10 est utilisé pour l'échantillonnage de la fraction conventionnelle inhalable dans sa version CIP 10-I en utilisant le sélecteur inhalable (Fig. 2b) au débit de 10 L.min^{-1}. Les performances du sélecteur inhalable n'ont pu être étudiées que récemment faute d'installation expérimentale adéquate. Son efficacité a été jugée comparable à d'autres dispositifs testés dans le cadre d'une étude européenne [6, 21]. Bartley [22] a calculé pour un ensemble de huit échantillonneurs de la fraction inhalable la limite supérieure de l'intervalle de confiance du biais au niveau 95% à partir des résultats de la même étude européenne [6]. Il apparaît que cette limite ne dépasse pas 50% pour 3 appareils seulement, dont l'appareil CIP10-I. Baldwyn *et al.* [23] ont effectué des mesures comparatives sur le terrain entre le CIP 10-I et l'appareil IOM [24]. Ils

concluent sur la compatibilité des résultats entre les deux techniques et sur l'avantage du CIP 10-I dans le cas où le procédé industriel est à l'origine de projections de particules. On peut constater que dans sa configuration actuelle l'échantillonneur CIP 10-I présente des performances comparables à celles d'autres dispositifs utilisés en France et à l'étranger [22, 23].

- Cependant un dépôt de particules a été constaté dans la partie supérieure du sélecteur lors d'essais en laboratoire. Ce dépôt diminue l'efficacité de transmission des particules entre la fente d'aspiration et l'étage collecteur du CIP 10. Une vérification de l'efficacité d'aspiration a été menée expérimentalement [25]. Celle-ci étant jugée satisfaisante, une réflexion sur l'acheminement des particules dans le sélecteur lui-même a été engagée afin de minimiser le phénomène de dépôt des particules sur les parois. Suite à cet étude des modifications de géométrie intérieure ont été apportées au sélecteur pour éliminer le dépôt. Le nouveau prototype (Fig. 9) a été testé [26]. L'amélioration de l'acheminement des particules aspirées vers la coupelle rotative est due à l'accélération radiale de l'aérosol dans la fente annulaire et à sa reprise verticale dans l'axe de la fente. Cette amélioration est traduite par l'augmentation de l'efficacité de transmission du nouveau sélecteur par rapport aux versions précédentes (Fig. 10). L'efficacité de transmission est proche de l'unité, ce qui correspond à l'absence de dépôt dans le sélecteur. L'efficacité globale d'échantillonnage du nouveau modèle a été mesurée pour deux vitesses de vent extérieur W=1 et 3 $m.s^{-1}$ et dans l'air calme. Les résultats expérimentaux sont reportés dans la figure 11 où ils sont accompagnés de la courbe conventionnelle inhalable. Ils montrent une efficacité globale d'échantillonnage satisfaisante pour toutes les tailles de particules [26].

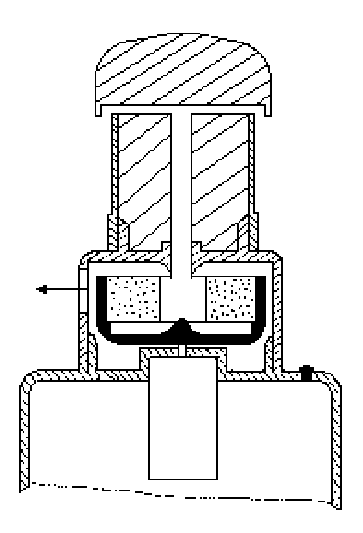


Figure 9
Schéma du nouveau modèle de sélecteur inhalable

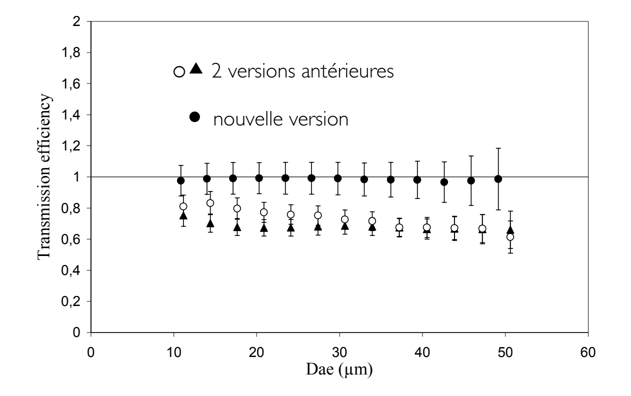


Figure 10
Efficacité de transmission des sélecteurs inhalables du CIP 10-I

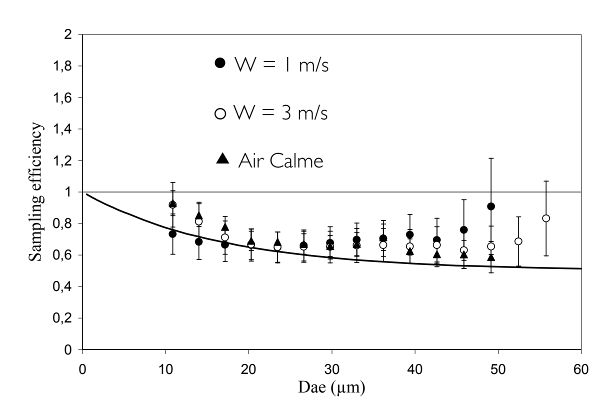


Figure 11
Efficacité globale d'échantillonnage de la nouvelle version du CIP 10-I

- La fabrication du nouveau sélecteur n'étant pas encore assurée seul le sélecteur original qui se trouve actuellement sur le marché est utilisé (Fig. 2b). Il présente donc des performances légèrement inférieures mais néanmoins acceptables par rapport à d'autres dispositifs utilisés [22, 23]. Son remplacement apparaîtra souhaitable dès la commercialisation du nouveau modèle représenté schématiquement sur la figure 9.

REMARQUES SUR L'UTILISATION DE LA METHODE

- Le débit élevé et la grande autonomie de l'appareil CIP 10 permettent de collecter une quantité appréciable de matière particulaire pour un échantillonneur individuel. Les particules d'aérosol étant collectées dans la coupelle rotative munie d'un filtre en mousse de polyuréthanne, l'analyse de la masse de l'échantillon présente quelques particularités : La pesée de la coupelle peut être affectée par l'humidité de l'air à cause du caractère hydrophile de la surface de la mousse en polyuréthanne. **Les pesées doivent être effectuées de préférence dans un local à hygrométrie stable en utilisant des coupelles témoins.** La procédure est décrite par ailleurs [15, 28].
- Pour des analyses chimiques ou minéralogiques, la matière collectée doit être extraite du filtre. A l'exception d'un échantillon soluble la procédure de lavage s'avère incertaine. On peut incinérer la mousse suivant la méthode décrite dans une norme AFNOR [27], mais dans le cas exclusif d'analyse de substances minérales. Dans les autres cas où l'on a des analyses à effectuer il est préférable de choisir la technique d'échantillonnage sur filtre avec l'échantillonneur CATHIA (décrite dans la fiche METROPOL H5 [29]), qui utilise les mêmes têtes de prélèvement et les mêmes sélecteurs. Ceci est impératif pour l'échantillonnage des particules fibreuses dont l'analyse s'effectue par comptage et mesurage des fibres en microscopie à la surface d'un filtre.

BIBLIOGRAPHIE

[1] NF EN 481 (X43-276). Novembre 1993. Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. Paris La Défense. AFNOR, 1993, 11 p.

[2] NF ISO 7708 (X 43-100). Mai 1996. Qualité de l'air - Définitions des fractions de taille des particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé. Paris La Défense. AFNOR, 1996, 14 p.

[3] COURBON, P., WROBEL, R., FABRIÈS, J.F. A new individual respirable dust sampler: The CIP 10. Annals of Occupational Hygiene, 1988, 32, pp. 129-143.

[4] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F. Industrial aerosol measurement according to the new sampling conventions. Occupational Hygiene, 1996, 3, pp. 361-376.

[5] FABRIÈS, J.F., GÖRNER, P., KAUFFER, E., WROBEL, R., VIGNERON, J.C. Personal Thoracic CIP10-T sampler and its static version CATHIA-T. Annals of Occupational Hygiene, 1998, 42, pp. 453-465.

[6] KENNY, L.C., AITKEN, R., CHALMERS, C., FABRIÈS, J.F., Gonzalez-Fernandez, E., Kromhout, H., Lidén, G., Mark, D., Riediger, G., Prodi, V. A collaborative European study of personal inhalable aerosol sampler performance. Annals of Occupational Hygiene, 1997, 41, pp. 135-153.

[7] QUINOT, E., KUEFFER, D. Turbo-Capteur de poussières continu et autonome. Revue Médicale Minière, 1968, n° 46, pp. 3-12.

[8] QUINOT, E. Study of a dust sampling instrument with cyclonic airflow : The Turbocaptor. Report n° 92, June 1968, Centre d'Etudes Médicales Minières.

[9] GÖRNER, P., WROBEL, R., FABRIÈS, J.F. Air filtration by rotating porous media. In Proceedings of the 5th World Filtration Congress, Nice 5-8 June,1990, pp. 165-167.

[10] BROWN, R.C. Porous foam size selectors for respirable dust samplers. Journal of Aerosol Science, 1980, 11, pp. 151-159.

[11] GIBSON, H., VINCENT, J.H. The penetration of dust through porous foam filter media. Annals of Occupational Hygiene, 1981, 24, pp. 205-215.

[12] VINCENT, J.H., AITKEN, R.J., MARK, D. Porous plastic foam filtration media: Penetration characteristics and application in particle size-selective sampling. Journal of Aerosol Science, 1993, 24, pp. 929-944.

[13] KENNY, L.C., AITKEN, R.J., BEAUMONT, G., GÖRNER, P. Investigation and application of a model for porous foam aerosol penetration. Journal of Aerosol Science, 2001, 32, pp. 271-285.

[14] Capteur individuel de poussières modèle CIP 10. Manuel d'utilisation, ARELCO, Fontenay-sous-Bois 1994.

[15] Personal dust sampler CIP 10. Instruction manual, ARELCO, Fontenay-sous-Bois 1994.

[16] GÖRNER, P., WROBEL, R., MICKA, V., SKODA, V., DENIS, J., FABRIÈS, J.F. Study of fifteen respirable aerosol samplers used in occupational hygiene. Annals of Occupational Hygiene, 2001, 45, pp. 43-54.

[17] NF EN 13205 (X43-283). Juin 2002. Atmosphères des lieux de travail – Evaluation des performances des instruments de mesurage des concentrations d'aérosols. Paris La Défense. AFNOR, 2002, 47 p.

[18] LYNCH, J.R. Air sampling for cotton dust. In Trans. Nat. Conf on Cotton Dust and Health, School of Public Health, Chapel Hill, N.C., 1970, pp. 33-43.

[19] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F., WROBEL, R. Thoracic fraction measurement of cotton dust. Journal of Aerosol Science, 1994, 25, pp. S487-S488.

[20] GÖRNER, P., FABRIÈS, J.F. Health-related size fractions of aerosols and long fibrous particles. In Abstracts of 4th International aerosol conference, Los Angeles, August 29 – September 2, 1994, pp. 736-737.

[21] KENNY, L.C. (1995) Pilot study of the CEN protocols for the performance testing of workplace aerosol sampling instruments. Report of the EC contract Mat1-CT92-0047. Health and Safety Laboratory, Sheffield.

[22] BARTLEY, D.L. Instrument performance criteria. Inhalable aerosol samplers. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 1998, 13, pp. 274-278.

[23] BALDWYN, P.E.J., MAYNARD, A.D., NORTHAGE, C. An investigation of short-term gravimetric sampling in pig farms and bakeries. Applied Occupational and Environmental Hygiene, 1997, 12, pp. 662-669.

[24] VINCENT, J.H. Measurement of coarse aerosols in workplaces - A review. Analyst, 1994, 119, pp. 13-18.

[25] GÖRNER, P., WITSCHGER, O., FABRIÈS, J.F. Annular aspiration slot entry efficiency of the CIP-10 aerosol sampler. Analyst, 1996, 121, pp. 1257-1260.

[26] GÖRNER, P., WROBEL, R., ROGER, F., FABRIÈS, J.F. Inhalable aerosol selector for the CIP 10 personal aerosol sampler. Journal of Aerosol Science,1999, 30, S893-S894.

[27] NF X43-295. Juin 1995. Air des lieux de travail – Détermination par rayons X de dépôt alvéolaire de silice cristalline. Paris La Défense. AFNOR, 1995, 20 p.

[28] KAUFFER, E., VIGNERON, J.C., FABRIES, J.F. Mesure de la concentration pondérale de polluants particulaires atmosphériques en hygiène professionnelle : Etude de quelques médias filtrants. Analusis, 1989, 17, pp. 389-393.

[29] METROPOL, Fiche méthode H5. Echantillonnage statique d'un aérosol par le dispositif CATHIA. INRS, département Métrologie des Polluants.